

几种人工湿地基质微生物活性研究

徐德福^{1,2}, 徐建明², 李映雪¹

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044; 2. 浙江大学环境与资源学院, 浙江 杭州 310029)

摘要:人工湿地基质是人工湿地处理系统的重要组成部分,采用土壤培养和污水模拟试验相结合,选择4种基质研究其微生物活性变化及其对氮去除的影响。结果表明:砂子/土壤/泥炭的混合物,土壤/砂子的混合物,土壤和砂子的微生物活性(微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸和酶活性)存在很大的差异,微生物活性的大小顺序是:砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子混合物>砂子。基质微生物活性受其碳含量影响并与碳含量呈正相关。氮去除量与基质微生物活性有关,并与基质微生物生物量碳、氮和基础呼吸呈显著正相关($P<0.05$)。微生物活性可以作为反映人工湿地净化能力的有效指标。

关键词: 基质; 微生物活性; 氮去除; 净化

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1672-2043(2008)02-0753-05

The Microbial Activity of the Substrates in Constructed Wetland and Its Effect on the Removal of Nitrogen from Wastewater

XU De-fu^{1,2}, XU Jian-ming², LI Ying-xue¹

(1. College of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. College of Environmental and Natural Resources Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)

Abstract: The removal way of nitrogen in the constructed wetland included pollutant uptake by wetland plant, sorption by substrates and decomposing by microbial organism, and among these, the removal of nitrogen by microbial organism was very important. However, microbial activity varied with different substrates, so the removal efficiency of the constructed wetland could be enhanced due to rationally chosen substrates. In addition, substrates were the important part of the constructed wetland, which affected plant growth and filter coefficient in the constructed wetland, resulted in different purifying capacity of the constructed wetland due to different substrates used for the constructed wetland. Based on soil incubation and imitated waste water experiment, the microbial activity in four substrates and its effect on the removal of nitrogen from waste water were investigated. Results showed that the microbial activity of four substrates (mixture of sand, soil and peat, mixture of sand and soil, soil and sand) varied greatly. Microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen, basal respiration, enzyme activity (urease and phosphatase) followed the order of mixture of sand, soil and peat>soil>mixture of sand and soil>sand, which was influenced by the carbon content in substrates. The removal of nitrogen significantly correlated with microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and basal respiration, indicating that these indicators might be used to evaluate the purification efficiency by constructed wetland.

Keywords: substrates; microbial activity; nitrogen removal; purification

人工湿地处理污水具有建设和运行成本低、管理方便等特点,现已成为污水生态处理研究领域的一个热点。填料(基质)是人工湿地的重要组成部分,在人工湿地中具有支撑植物、提供植物和微生物生长所需

养分等作用。在人工湿地中,颗粒态氮、颗粒态磷和颗粒悬浮物(SS)等可以通过沉降或基质过滤作用而从水体中去除;对于铵态氮、磷和重金属等污染物也可通过基质吸附作用固定,但对于污水中有机物和大部分氮则主要通过微生物作用而去除,如微生物能将高分子有机物降解成低分子有机物,最后完全分解成CO₂和H₂O,从而实现对有机物的净化,而氮则在微生物的作用下,通过氨化、硝化与反硝化作用脱氮而

收稿日期: 2007-05-20

基金项目: 浙江省科技项目资助(2005E10047, 2005C13003)

作者简介: 徐德福(1975—),男,贵州遵义人,博士,副教授,主要从事污染水体生态修复控制研究。E-mail: defuxu1@163.com

通讯作者: 徐建明 E-mail: jmxu@zju.edu.cn

去除。因此,微生物在人工湿地中氮和有机物的去除过程中具有重要地位。近年来,已有学者对湿地的微生物学与生物化学特性进行了研究。Kang 等提出酶能将有机物水解形成无机营养,且对湿地中污染物质的转化具有重要作用^[1]。Hammer 认为湿地基质、湿地植物以及微生物的相互作用是人工湿地的主要去除机理,湿地中有机磷的分解、氮的硝化与反硝化以及有机物的去除都与微生物的活性密不可分^[2]。人工湿地基质选择比较广泛,如砂子、砾石、土壤、工业副产品(如炉渣、钢渣、粉煤灰等)以及它们的混合等都可以作为人工湿地的基质材料,但对人工湿地中不同基质的微生物活性还缺乏深入研究。为此,本文选择4种人工湿地基质,探讨了不同基质微生物活性及其对污水中氮去除的影响,为人工湿地基质的选择提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

基质材料包括土壤、砂子和泥炭。土壤为潮土,采自浙江大学华家池校区试验农场,其 pH 为 5.51,有机质、全氮和有效磷分别为 11.40、1.54 和 12.5 g·kg⁻¹,粘粒、粉粒和砂粒组成分别为 24.5%、65.0%和 10.5%。砂子从浙江省三堡砂厂获得,主要成分为 SiO₂,铁、钙、铝和镁的含量分别为 6.34、56.3、1.34 和 1.26 g·kg⁻¹。泥炭从杭州市市场购得,其有机碳含量为 454 g·kg⁻¹;供试植物为香蒲(*Typha* spp., *Scirpus* spp.),购自浙江中竹园艺贸易有限公司。试验污水取自浙江大学养鱼池。

1.2 盆栽培养

盆栽试验在浙江大学环境与资源学院网室内进行。4种基质按如下方法准备:(1)砂子;(2)土壤;(3)50%砂子与50%土壤混合(重量比);(4)47.5%土壤、47.5%砂子与5%泥炭混合。分别称取准备好的基质5kg,与1.5g过磷酸钙、2g尿素以及1.5g氯化钾混合均匀,放入15L的塑料桶中,同时移栽长势均匀一致的香蒲苗,然后加水进行淹水培养。每处理设3次重复,在整个试验期间淹水深度保持在3~4cm,2个月后追肥一次(加入3g过磷酸钙和4g尿素)。培养试验持续半年,试验结束后,小心去掉地上部分植物和基质中的根,然后将基质混匀,取一部分基质分析其微生物生物活性(微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸、脲酶和磷酸酶活性),另一部分基质

用于污水培养试验。

1.3 污水培养试验

取相当于干重20g基质于500mL三角瓶中,随后加入200mL污水于黑暗中恒温(20℃)培养,同时设空白对照(CK),即在三角瓶中只加污水,不加基质。每处理设3次重复,每天加入蒸馏水补充水分损失,并于培养后第0、1、6和12d取样分析总氮含量。

1.4 分析方法

土壤基本理化性质采用常规方法分析^[3];微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸、脲酶和磷酸酶活性分别采用氯仿熏蒸法测定^[4]、室内密闭培养碱液吸收法^[5]、靛酚蓝比色法和磷酸苯二钠比色法测定^[6]。废水中总氮的分析采用《水和废水监测分析方法》^[7]。

2 结果与分析

2.1 基质微生物生物量碳、微生物生物量氮

4种基质的微生物生物量碳存在差异,以土壤/砂子/泥炭混合物的微生物生物量碳含量最高,土壤其次,而砂子最低(图1A)。土壤/砂子/泥炭混合物和砂子的微生物生物量碳存在显著差异($P<0.05$),前者是后者的12.5倍,但砂子/土壤混合物与土壤的微生物生物量碳差异未达到显著水平。4种基质的微生物生物量碳大小顺序为:砂子/土壤/泥炭的混合物>土壤>土壤/砂子的混合物>砂子。

不同基质中微生物生物量氮与微生物生物量碳有一致的趋势,土壤/砂子/泥炭混合物的微生物生物量氮最高,土壤其次,砂子最低(图1B);土壤/砂子/泥炭混合物的微生物生物量氮显著($P<0.05$)高于其他3种基质,而砂子的微生物生物量氮则显著低于其他3种基质;土壤/砂子/泥炭混合物的微生物生物量氮是砂子的8.07倍。

2.2 基质基础呼吸

供试基质的基础呼吸存在显著差异($P<0.05$)。土壤/砂子/泥炭混合物的基础呼吸最高,土壤次之,砂子最低,土壤/砂子/泥炭混合物基础呼吸是砂子的1.5倍(图2)。4种基质基础呼吸的大小顺序也与微生物生物量碳、氮的次序一致。

2.3 基质酶活性

不同基质的脲酶和磷酸酶活性都存在差异(图3)。砂子/土壤/泥炭混合物与土壤的脲酶活性都显著高于砂子和土壤/砂子的混合物($P<0.05$)(图3A)。砂子/土壤/泥炭混合物的脲酶活性是砂子的2.4倍,砂

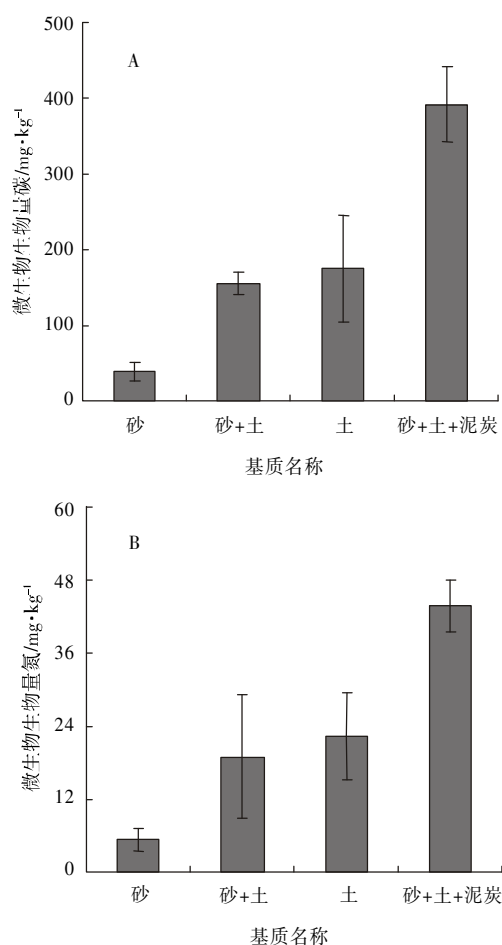


图 1 基质的微生物生物量碳和氮

Figure 1 Microbial biomass carbon and nitrogen in different substrates

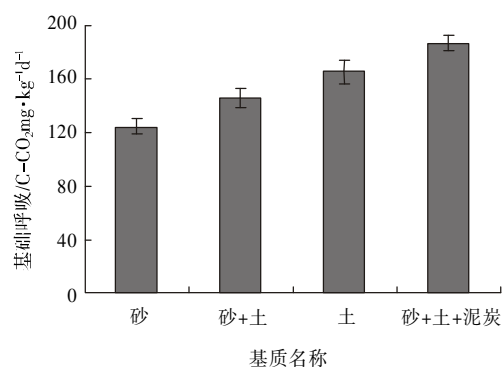


图 2 基质的基础呼吸

Figure 2 Basal respiration of different substrates

子/土壤混合物和砂子中脲酶活性差异不大。砂子/土壤/泥炭混合物的磷酸酶活性显著高于砂子($P<0.05$), 而砂子的磷酸酶活性最低(图 3B), 砂子/土壤/泥炭混合物的磷酸酶活性是砂子的 17.14 倍。基质脲酶和磷酸酶活性均为: 砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子

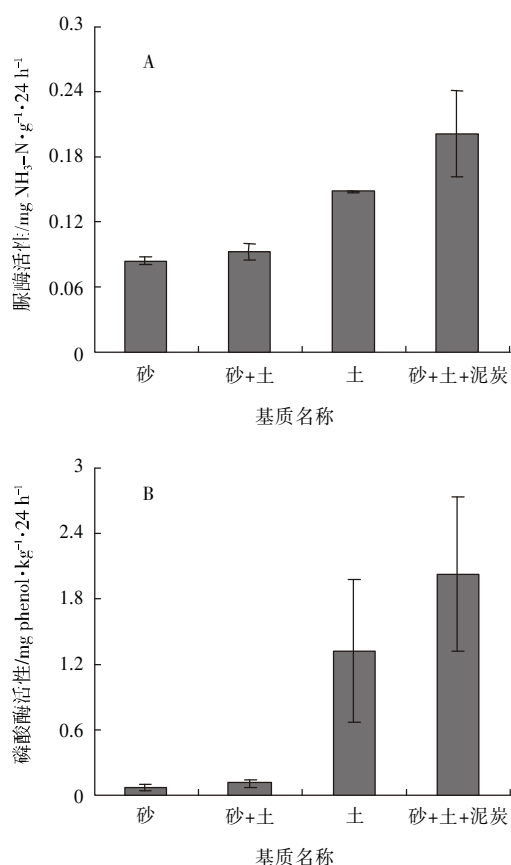


图 3 基质中酶的活性

Figure 3 Enzyme activities in different substrates

子混合物>砂子。

2.4 氮转化与去除

4 种基质中污水的氮浓度随时间的增加呈下降的趋势,但它们的氮浓度都高于对照(CK),这说明 4 种基质都向水体中释放氮,但不同基质向水体中释放的氮量存在差异,砂子/土壤/泥炭混合物的释放量大于其他 3 种基质,而砂子的释放量最小(图 4A)。这一现象与加入的尿素和基质的种类有关,在盆栽培养试验中,加入尿素溶解以无机氮的形式被基质吸附,而在污水培养试验中,基质吸附的氮被释放,导致基质水体中的氮含量高于对照。基质中氮的释放量大小顺序为: 砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子混合物>砂子,说明在盆栽试验中基质对氮的吸附能力大小为: 砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子混合物>砂子。这一结果说明不同基质对氮的吸附能力存在差异。

基质对氮去除量(初始氮浓度与不同取样时间的浓度之差即为氮去除量)随时间增加而增加,且都高于对照(CK),4 种基质均表现相同趋势(图 4B)。在第

1 d, 基质对氮去除量差异不显著, 到第 6 d, 砂子/土壤/泥炭混合物对氮的去除量显著高于砂子 ($P<0.05$), 到第 12 d 时, 4 种基质对氮去除量存在显著差异 ($P<0.05$), 这说明时间影响基质对氮的转化和去除。在利用人工湿地处理污水时, 延长停留时间, 可以提高对氮的去处效果。4 种基质对氮的去除量大小顺序也为砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子混合物>砂子。

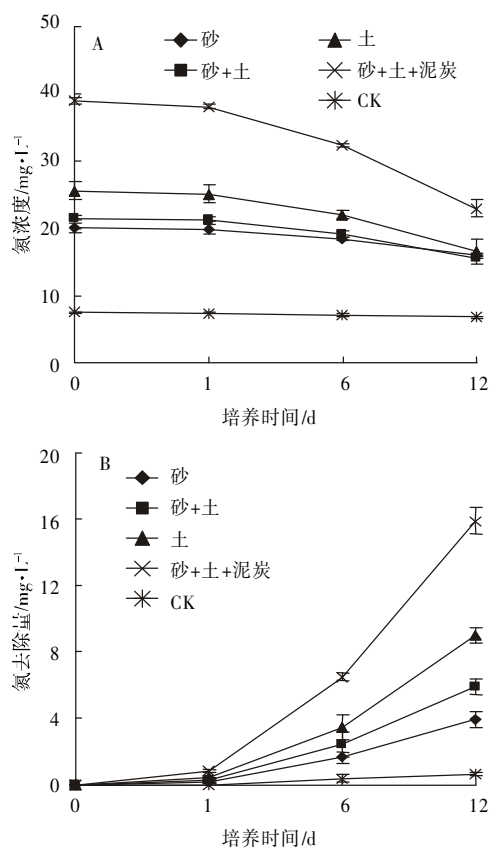


图 4 不同基质对氮去除的影响

Figure 4 Effect of different substrates on N removal from waste water

3 讨论

3.1 基质微生物活性

基质微生物生物量碳的大小顺序为: 砂子/土壤/泥炭混合物>土壤>土壤/砂子的混合物>砂子 (图 1A)。砂子主要成分是 SiO_2 , 含有少量的 Ca 、 Fe 、 Mg 和 Al 等离子, 而土壤和泥炭的碳含量分别是 11.40 和 $450.5 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 因此, 土壤和泥炭分别与砂子混合后都能增加砂子中碳含量。这说明基质微生物生物量碳受基质碳含量的影响, 这与 Polwson 等的研究结果一致^[8], 他认为土壤中微生物生物量碳与有机碳呈显著

相关性。相关分析表明, 基质微生物生物量氮与微生物生物量碳呈极显著正相关 ($P<0.01$), 因此, 基质微生物生物量氮与微生物生物量碳的变化趋势相一致, 且受基质中碳含量的影响。有机物增加基质微生物活性可能有两个原因: 一方面是有机物可以为微生物提供能源和碳源, 另一方面是有机物能增加基质与微生物接触的有效表面积, 有利于人工湿地中生物膜的增加。

基础呼吸是反映微生物活性的有效指标之一, 当微生物活性比较高时, 相应的基础呼吸也增强, 4 种基质的基础呼吸存在显著差异 ($P<0.05$), 可能与基质中碳含量差异有关。Garcia 等 (2000) 也认为当土壤有机质降低时, 供给微生物活性的碳相应减少, 导致较弱的基础呼吸^[9]。因此, 基质的碳含量也影响了基质的基础呼吸。砂子/土壤/泥炭混合物的磷酸酶和脲酶活性显著 ($P<0.05$) 高于其他 3 种基质 (图 3), 这主要是因为加入的泥炭矿化增加了基质的养分含量, 导致微生物活性增加, 从而增加了酶活性。

3.2 基质微生物活性对氮去除影响及其调控

基质微生物活性影响了氮的去除, 且相关分析表明氮的去除量与微生物生物量碳、氮和基础呼吸均呈显著正相关 ($P<0.05$), 这说明人工湿地中氮的转化与微生物活性密切相关, 微生物活性越强, 氮的转化去除越多。Liang 等研究表明, 凯氏氮去除率与脲酶活性呈显著正相关^[10]。Reddy 等也报道, 微生物生物量碳含量可以反映反硝化速率^[11]。因此, 基质类型不同, 其微生物活性存在差异, 对氮的去除也不同。

基质的微生物活性可以通过碳的供给来调节。如在本研究中, 砂子/土壤的混合物中再加入 5% 的泥炭, 混合后基质的微生物生物量碳, 微生物生物量氮, 基础呼吸和酶活性都显著高于其他基质 ($P<0.05$), 这说明有机物能有效地调节基质的微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸和酶活性。Shackle 等也指出可以通过加入一定数量和质量的碳 (如葡萄糖或纤维素) 来控制人工湿地的酶活性, 从而提高人工湿地的去除能力^[12]。因此, 人工湿地的净化能力受基质微生物活性的影响, 而微生物活性则受基质类型的影响。这一结论对于指导人工湿地基质的选择和人工湿地的运行管理具有重要意义。

4 结论

(1) 微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸、脲酶和磷酸酶活性均为: 砂子/土壤/泥炭混合物>

土壤>土壤/砂子混合物>砂子。基质的微生物活性受碳含量的影响。

(2)氮的去除量与基质微生物生物量碳、微生物生物量氮、基础呼吸以及脲酶和磷酸酶活性呈正相关。基质对氮的去除量随时间的延长而增加。

(3)人工湿地基质的微生物活性,一方面受基质类型的影响,另一方面则可以通过加入碳来调控。微生物活性可作为筛选人工湿地基质的重要指标。

参考文献:

- [1] Hojeong Kang, Chris Freeman. Phosphatase and arylsulphatase activities in wetland soils: annual variation and controlling factors [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31:449–454.
- [2] Hamimper D A. Constructed wetland for wastewater treatment[M]. Michigan:Lewis Publishers Inc,1989,5–20.
- [3] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社, 1999.
- [4] Vance E D, Brookes P C, Jenkinson D. An extraction method for measuring microbial biomass carbon.[J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19:703–707.
- [5] 许光辉,郑洪元.土壤微生物分析方法手册[M]. 北京: 农业出版社, 1986.49–60.
- [6] 关松荫. 土壤酶及其研究法[M]. 北京: 农业出版社, 1987.274–339.
- [7] 国家环境保护总局水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002. 254–257.
- [8] Polwson D S, Grookes P C, Christensen B T. Measurement of soil microbial biomass provides an early indication of changes in total soil organic matter due to straw incorporation [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 1987, 19: 159–164.
- [9] Garcia C, Hernandez T, Roldan A. Effect of plant cover decline on chemical and microbiological parameters under Mediterranean climate [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 34: 635–642.
- [10] Liang W, Wu Z B, Cheng S P. Roles of substrate microorganism and urease activities I: wastewater purification in a constructed wetland system [J]. *Ecological Engineer*, 2003, 21:191–195.
- [11] Reddy K R, Rao P S C, Jessup R E. The effect of carbon mineralization and denitrification kinetics in mineral and organic soils[J]. *Soil Sci Soc Am J*, 1982, 46:62–68.
- [12] Shackle V J, Freeman C, Reynolds B. Carbon supply and the regulation of enzyme activity in constructed wetland [J]. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32:1935–1940.